

Jiří Bernát: Návrh na optimalizaci vrtných prací

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**  
**Hornicko-geologická fakulta**  
Institut hornického inženýrství a bezpečnosti

**NÁVRH NA OPTIMALIZACI VRTNÝCH PRACÍ  
PŘI LOMOVÉM DOBÝVÁNÍ**

bakalářská práce

**Autor:**  
**Vedoucí bakalářské práce:**

Jiří Bernát  
doc. Ing. Milan Mikoláš, Ph.D.

Ostrava 2009

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Jiří Bernát**

Studijní program:

B2102 Nerostné suroviny

Studijní obor:

2102R012 Využívání zdrojů stavebních nerostných surovin

Téma:

Návrh na optimalizaci vrtných prací při lomovém dobývání.  
Proposal for optimization drilling work at open-cast mining.

Zásady pro vypracování:

1. Charakteristika vrtacích prací v lomových provozech, lomové vrtací soupravy
2. Rešerše dosavadních výsledků vrtných prací
3. Návrh na optimalizaci vrtných prací na lomových provozech
4. Technicko-ekonomické vyhodnocení navrženého řešení

Rozsah práce

25 - 30 stran.

Seznam doporučené odborné literatury:

KRYL, Václava kol. Povrchové dobývání ložisek. 1. vyd. Ostrava: VŠB Technická univerzita Ostrava, 1997. 282 s. ISBN 80-7078-396-6.

MAZÁČ, Josef. Hlubinné vrtání. 1. vyd. Ostrava: VŠB Technická univerzita Ostrava, 1991. 155 s. ISBN 80-7078-092-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Milan Míkoláš, Ph.D.

Datum zadání:

31.10.2008

Datum odevzdání:

30.04.2009

prof. Ing. Pavel Prokop, CSc.  
vedoucí institutu

prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

***Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval(a) samostatně a uvedl(a) jsem všechny použité podklady a literaturu.***

***Ve své programové aplikaci jsem použil program Řezné schéma, pro optimální rozmístění řezných nástrojů, vytvořený Mgr. Dášou Dlouhou, Ph.D.***

***Byl(a) jsem byl seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.***

***Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít 35 odst. 3).***

***Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.***

***Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.***

***Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).***

**Ostravě dne 20. 4. 2009**

**Jiří Bernát**



Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Milanu Mikolášovi, Ph.D. za pomoc při vypracování.

Současně děkuji konzultantovi v oblasti vrtání doc. Ing. Josefu Mazačovi, CSc. za jeho odborné vedení, cenné rady a konzultaci.

## Summary

This paper focuses on drilling operations optimization for quarrying works. The introductory part aims to describe particular drilling rings used for quarrying.

Major attention is paid to submersible hammer drill and its practical usage. Principal part of the paper discusses the exploitation of a new mathematic method "Simulated cooling", leading to the optimal dislocation of lips on boring crowns.

The concluding section is dedicated to assessment of the proposed solution from the viewpoint of technical and economic benefits for quarrying works.

## Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá optimalizací vrtných prací při lomovém dobývání. V úvodu se zaměřuje na popis jednotlivých vrtacích souprav používaných při lomovém dobývání.

Největší pozornost je věnována ponornému vrtacímu kladivu (DTH) a jeho využití v praxi. Hlavní část je pak zaměřena na využití nové matematické metody „Simulované ochlazování“ vedoucí k optimálnímu rozmístění břitů na vrtacích korunkách.

V závěru práce hodnotí navrhované řešení z hlediska technicko-ekonomického přínosu při lomovém dobývání.

## OBSAH

1. Úvod.....	1
2. Charakteristika vrtných prací v lomových provozech .....	2
2.1. Přehled vrtacích prací.....	2
2.2. Podmínky vrtání hornin .....	4
2.3. Způsoby vrtání hornin .....	5
2.4. Rozdělení způsobu vrtání hornin na lomech .....	6
2.5. Lomové vrtací soupravy .....	7
2.5.1. Vrtací soupravy pro nárazové vrtání .....	8
2.5.2. Vrtací soupravy příklepné .....	8
2.5.3. Vrtací soupravy pro rotačně-řezné vrtání .....	11
2.5.4. Vrtací soupravy pro valivé vrtání .....	12
2.5.5. Vrtací soupravy s termickým vrtáním .....	12
2.5.6. Vrtací soupravy universální .....	13
3. Rešerše dosavadních výsledků vrtných prací .....	14
3.1. Vývoj vrtacích korunek .....	14
4. Návrh na optimalizaci vrtných prací na lomových provozech.....	16
4.1 Simulované ochlazování .....	16
4.2. Využití simulovaného ochlazování k optimalizaci tvaru a rozmístění břitů na vrtacích korunkách .....	17
4.3. Úprava programu „Řezné schéma“ pro potřeby vrtacích prací....	20
5. Technicko-ekonomické vyhodnocení navrženého řešení.....	20
5.1. Cenové srovnání technologií vrtání .....	21
6. Závěr.....	25

### **Seznam zkratk**

DTH – ponorné vrtací kladivo (angl. Down-the-Hole), znamená „dole ve vrtu“.

## 1. Úvod

Hornictví v České republice má několik set let starou historii a patří k nejstarším v Evropě i ve světě. Dokumentuje to i první horní zákon vydaný českým králem Václavem II. v roce 1300. Rozvoj hornictví byl nejprve zaměřen na těžbu rudných ložisek, především v Krušných horách s významnými středisky Krupka a Jáchymov, kde byl ustanoven první Horní báňský úřad koncem 18. století.

Nerostné suroviny bude lidstvo potřebovat i nadále a proto budou i nadále těženy. Bude ale nutné se ke krajině i lidem v ní žijící chovat šetrněji. Také k ložiskům nerostných surovin musíme přistupovat jako ke zdrojům neobnovitelného přírodního bohatství. Musí být vytvořena určitá rovnováha mezi těžbou nerostných surovin a životním prostředím.

Lomové dobývání je dobývání totální, které narušuje krajinné prostředí a zanechává mnohdy nezahladitelné stopy. Představuje sice ekonomičtější využití zásob těženého ložiska než dobývání hlubinné, ale vyžaduje mnohem více prostředků na zahlazení těžební činnosti při rekultivačních procesech a obnově ekologicky vyvážené krajiny.

V posledních 40-ti letech došlo k rychlému vývoji technologií lomového dobývání. Velký význam pak má využití vrtných prací a jejich optimalizace na lomových provozech. V dnešní době hledáme především ekonomické úspory celého procesu dobývání. Je nutné zvolit co nejoptimálnější metodu vrtných prací, která bude mít nejen ekonomický efekt, ale bude i spolehlivá a její využití v praxi bude co nejefektivnější.



## 2. Charakteristika vrtacích prací v lomových provozech, lomové vrtací soupravy

### 2.1. Přehled vrtacích prací

Ve výrobním procesu těžby nerostných surovin lomovým způsobem se setkáváme s nejrůznějším využitím vrtných prací. V lomových provozech je to nejčastěji pro zhotovování vrtů pro trhací práce, dále pro vrty geologického průzkumu, pozorovací a odvodňovací vrty.

Mezi hlavní součástí těžební činnosti se počítají vrtací práce pro realizaci trhacích prací, které jsou provozovány při dobývání pevných hornin v kamenolomech a při těžbě rudných ložisek lomovým způsobem.

Podle účelu, pro který jsou vrty prováděny, lze vrtání na lomech rozdělit následně:

Rozdělení vrtání na lomech

Vrty	
průzkumné	na lomech
- vrty geologicko - průzkumné	- vrty geologické dorozvědky
- vrty provozně - průzkumné	- vrty pro trhací práce - vrty odvodňovací a pozorovací - vrty k vyhledávání dutin - vrty ostatní

Tabulka č.1

#### a) ***Vrty průzkumné***

tyto vrty se dělí na geologicko-průzkumné a provozně-průzkumné vrty :

##### *Vrty geologicko-průzkumné*

jsou prováděny pro zjišťování geologických poměrů a hloubky se pohybují od desítek do stovek metrů s maximálním průměrem 210 mm. Vrty se provádějí na jádro pro zajištění [1]

geologických podkladů k zabezpečování a realizaci otvírek ložiska užitkového nerostu.

Jejich cílem je získání geologických geotechnických informací, slouží jen po dobu vrtání, po ukončení nemají význam a likvidují se. V geologickém průzkumu sem patří např. vrty mapovací, strukturní, opěrné, parametrické, pionýrské atd.

V hornictví sem patří např. vrty vyhledávací, orientační, ložiskové, zajišťovací, testovací, parametrické, vrty pro geomechanické účely apod.

Vrtání i zpracování výsledků těchto hlubokých vrtů se musí věnovat zcela mimořádná pozornost, jelikož tento druh vrtné činnosti je velmi náročný a nákladný.

#### Vrty provozně-průzkumné

- vrty prováděné na jádro za účelem zpřesnění geologických poměrů a získání vzorků. Konečné hloubky těchto vrtů se pohybují do 250 m, maximální průměr je 210 mm. Cílem je vytvoření otvorů, které po odvrtání mají sloužit určitému účelu; začínají sloužit až po dokončení vrtu.

- ostatní provozně-průzkumné vrty jsou převážně bez odběru jádra a vrtají se na plnou čelbu. Slouží k zajištění dutin, k upřesnění mocnosti tvrdých poloh nebo ložiska. Vrtají se do hloubky 25 m, výnos rozvolněné horniny je vzduchovým výplachem nebo spirálou navařenou na soutyči. [1]

### **b) Vrty na lomech**

#### Vrty geologické dorozvědky

navazují na vrty ložiskového průzkumu a jsou prováděny na jádro. Hloubky těchto vrtů mohou dosahovat až 300 m o průměrech od 89 do 191 mm.

#### Vrty pro trhací práce

slouží výhradně v lomařství pro táhlé nálože lišící se svou délkou a průměrem. V kamenolomech či rudných lomech nebo i z částí v uhelných lomech se

v současné době používá vrtů pro hromadnou těžbu řadovými, clonovými a plošnými odstřely. Vrtají se vrtnými soupravami z horní plošiny řezu. Používá se také horizontálních vrtů pro pomocné patní vrty k dosažení účinnějšího rozpojení spodní části bloku. Délky vrtů jsou závislé na výšce etáží, které jsou v současnosti v kamenolomech do 20 m, s průměry vrtů od 90 do 140 mm.[1]

### Vrty ostatní

jsou prováděny různými vrtacími soupravami v poměrně malém rozsahu co do potřebné metráže vrtných prací a nepravidelné potřebě. Jsou to např. ve stavebnictví pilotové, injektážní, spojovací a sanační otvory pro sloupy, většinou pro železniční dopravu (o průměru až 300 mm a hloubky 3 m), v hydrogeologii jsou to např. čerpací, pozorovací, balneologické vrty pro získání údajů o parametrech zvodnělých horizontů (průměr od 150 do 750 mm, hloubka až 400 m) a vyhledávací vrty pro posypové materiály na lokalitách lomů (při výskytu pálených jíků) apod.

## **2.2. Podmínky vrtání hornin**

Účinnost rozrušování hornin při vrtání závisí především na jejich fyzikálně – mechanických vlastnostech. Jejich znalost umožňuje provést výběr vhodného způsobu vrtání, optimální volbu vrtného nástroje, režimu vrtání a také vypracování technologických opatření při případných komplikacích nebo haváriích ve vrtu. Při provádění vrtů v lomových provozech se setkáváme se všemi druhy hornin.

Fyzikálně-mechanické vlastnosti jednotlivých hornin závisí na mnoha faktorech:

- mineralogickém složení mimo struktury a textury na tmelu
- velikosti zrn jednotlivých minerálů
- stupni narušení
- úložních podmínek

Horniny jsou v podstatě útvary, složené z nerostných částic buď jednotného (např. jílovce, vápence, mramory aj.) nebo různého mineralogického složení (např. žuly, ruly, pískovce aj.).

Mechanická pevnost horniny je určena silami soudržnosti mezi jednotlivými částicemi resp. tmelem horniny.

Základní technologickou operací vrtného procesu je tedy překonání sil soudržnosti vyvoláním mezního stavu v hornině prostřednictvím vnějších sil a tím rozrušování horniny na dně vrtu.

V současné době jsou pro hloubení vrtů používány především mechanické způsoby rozrušování, kdy částice horniny jsou od masivu oddělovány vrtným nástrojem a to v případě, že na kontaktu jeho pracovních elementů (TK – břity, zuby valivých dlát, zrna diamantů apod.) s horninou je dosaženo potřebné koncentrace napětí. Na úspěšném provedení této operace závisí efektivnost rozrušování horniny a tím i rychlost vrtání.

Nezávisle na způsobu rozrušování horniny má pro hloubení vrtu velký význam i stabilita hornin, tvořící jeho stěny, které úzce souvisí s jejich mechanickou pevností, fyzikálním složením, hloubkou a průměrem vrtu.

Účinnost rozrušování horniny při vrtání je dána velikostí vnějších sil, působících prostřednictvím vrtného nástroje na horninu (tj. tlak a otáčky vrtného nástroje), který určují charakter rozrušování a tím i rychlost vrtání a opotřebenosti vrtného nástroje. Na způsob rozrušování většiny hornin (vyjma hornin plastických a sypkých) má rozhodující vliv velikost tlaku na vrtný nástroj. Proto základním technologickým předpokladem efektivního rozrušování horniny vrtáním je vhodná volba optimálního typu vrtacího nástroje a tlaku na tento vrtný nástroj tak, aby vykonával pracovní úkol v oblasti objemového rozrušování horniny.[1]

### **2.3. Způsoby vrtání hornin**

Podle způsobu přenosu energie na rozpojovací nástroj a na horninu se k vrtání hornin používá různých způsobů. Z tohoto hlediska je možno provést rozčlenění jednotlivých způsobů rozpojování hornin při vrtání na tři základní typy :

- mechanický (nárazem, řezáním, obrusem)
- fyzikální (teplem, vodním paprskem, laserem apod.)
- ostatní (fyzikální-rozpouštěním, resp. fyzikálně-chemickou absorpcí).

V lomových provozech má zásadní význam první skupina, a to s rozpojováním pomocí mechanického působení na horninu. Na průběh tohoto mechanického rozrušování má vliv několik faktorů:

- z hlediska horniny: struktura, textura, pružnost, plastičnost, tvrdost, pevnost v tahu, resp. v tlaku, smyku apod.
- z hlediska vrtného nástroje: počet břitů, ostrost, řezný úhel (úhel břitu)
- z hlediska technologie vrtání: přitlačná síla, počet otáček za minutu, způsob chlazení nástroje, vynášení rozrušené horniny z vrtu, úklon vrtu, svislost vrtu apod.

#### **2.4. Rozdělení způsobu vrtání hornin na lomech**

Mezi nejčastěji používané způsoby vrtání hornin na lomech patří především:

##### ***a) Příklepné vrtání***

je nejpoužívanějším druhem vrtání vrubovým rozpojením, kde břit nástroje vniká do horniny působením kinetické energie od úderu části vrtného kladiva na horní konec nástroje. Po každém příklepu nástroj od horniny odskočí a pootočí se, aby další vniknutí břitu do horniny bylo v jiné nerušené části dna vrtu. Rozeznáváme vrtání s vnějším nebo ponorným kladivem:

- příklepné vrtání vnějším kladivem využívá těžkého sáňového kladiva a nástavného soutyčí na přestavitelné lafetě. Vrtací kladivo zůstává vně vrtu a do vrtu postupuje pouze nástroj (vrtací tyč s korunkou). Se zvyšující hloubkou vrtu se prodlužuje soutyčí a tím dochází ke značnému útlumu rázů a přenos energie na vrtný nástroj je méně účinný.
- příklepné vrtání ponorným kladivem je založeno na systému vrtacího kladiva, které postupuje do vrtu na čele soutyčí těsně za vrtací korunkou. Tím je zajištěna stálá a co nejmenší vzdálenost kladiva od břitu vrtací korunky. Kladivo je

konstruováno tak, aby se umístilo do vývrtu a zajišťovalo vlastní vrtání. Převážně jsou tato ponorná kladiva řešena tak, že pootáčení korunky zajišťuje zvláštní motor umístěný vně vrtu. Má to výhodu v nezmenšeném výkonu kladiva a v množství kontroly samotného pootáčení soutyčí ve vrtu.

### ***b) Rotačně – příklepné vrtání***

je kombinované vrtání příklepného a rotačně řezného. Nástroj na dně vrtu vytváří příklepným způsobem vrub v hornině a při otáčení je neustále přitlačován dostatečnou silou a horninu odřezává v třískách. U tohoto způsobu vrtání nedochází k odskočení nástroje ze dna vrtu, ale naopak nástroj je neustále ve styku s horninou, vrtání probíhá kontinuálně a tím umožňuje dosažení vyšších vrtných postupů. Počet úderů se pohybuje v rozmezí 3500 až 5500 za minutu a počet otáček je 100 až 350 za minutu.

Mezi další možní způsoby vrtání patří:

- nárazové vrtání
- šnekové vrtání
- vibrační vrtání
- lanové vrtání
- rotarové vrtání
- jádrové vrtání
- rotačně řezné vrtání
- valivé vrtání

## **2.5. Lomové vrtací soupravy**

Vrtací zařízení je komplex zařízení, který se skládá ze dvou hlavních částí:

- vrtné soupravy – veškeré povrchová strojní zařízení
- vrtné náradí – veškeré nástroje a pomocná zařízení pracující ve vrtu.[2]

Lomové vrtací soupravy jsou vrtací stroje na podvozku, u nichž je mechanizován alespoň posuv vlastního vrtacího zařízení. Jsou určeny pro provádění vrtů o daném průměru a potřebné délce.

Vrtací soupravy se skládají obvykle z hlavních funkčních celků, a to z pohonného zařízení vrtacího, manipulačního a pojezdového.

Hlavní rozdělení lomových vrtacích souprav je podle:

- způsobu vrtání
- mobilnosti a umístění pohonné jednotky
- hmotnosti (lehké, střední, těžké)
- účelu vrtání (pro vrty průzkumné, pro trhací práce, pro odvodnění apod.)

Lomové vrtací soupravy lze rozdělit podle způsobů vrtání:

- s nárazovým vrtáním
- s příklepným vrtáním (s vnějším nebo ponorným kladivem)
- s rotačně-řezným vrtáním
- s termickým vrtáním
- s kombinovaným vrtáním

### **2.5.1. Vrtací soupravy pro nárazové vrtání**

Nejrozšířenější typ tohoto druhu vrtacích souprav je s použitím těžkého dláta upevněného na laně. Předností nárazových vrtných souprav je v možnosti vrtat i v tvrdých a pevných horninách. Nevýhodou je relativně malý postup vrtání ve srovnání s jinými moderními způsoby, proto se od této metody v lomové praxi upouští.

### **2.5.2. Vrtací soupravy příklepné**

V současnosti se používají příklepné soupravy, které umožňují vrtat podle místních podmínek buď vnějším nebo ponorným kladivem.[1]

a) Vrtací soupravy s vnějším kladivem

Používají těžkého saňového kladiva a nástavného soutyčí, které se nastavuje z jednotlivých dílů závitovými spoji do délky 10-20m, kdy je možno ještě efektivně vrtat.

b) Vrtací souprava s ponorným kladivem

Používá se při vrtání vývrtů pro clonové odstřely v kamenolomech v tvrdých a velmi tvrdých horninách.

Konstrukce vrtacích korunek pro příklepné vrtání se v současnosti vyznačuje úpravami, které jsou zaměřeny na zdokonalování břitové části a na účinnější vynášení drti. Používá se vrtacích korunek s křížovými břitů s pravidelným střídáním břitových hran různých délek, kde se dosáhne rovnoměrnějšího rozložení břitových hran na čele vrtu s účinnějším efektem rozpojení hornin. pro ponorná kladiva se v poslední době používá nové koncepce vrtací korunky, která nerozpojuje horninu břitů, ale polokulovými výstupky vytvořenými konci roubíků ze slinutých karbidů. (pro vrtání tvrdých a velmi tvrdých hornin). [1]



Obr.1: DTH kladivo RH550

Pro použití příklepného způsobu vrtání ponorným vrtacím kladivem v podmínkách kamenoprůmyslu byla inovovaná lehká vrtací souprava tuzemské výroby LVE 70 (viz obr.2) a nahrazena vyvinutým typem SLVE 81 (viz obr.3)

Ponorné vrtací kladivo se používá ve tvrdých horninách jako např břidlice, pískovec, žula, rula, čediče, jílovce atd. a pro hlubší vrty. Příklep ponorného kladiva a vynášení materiálu z vrtu pohání tlakový vzduch z kompresoru. Vrty je možné vystrojovat ocelovými nebo PVC trubkami. Výhody LVE 70 spočívají



v nízké váze a z toho vyplývající mobilnosti. Vrtacím kladivem lze vrtat i takzvané zvodnělé vrty, případně vrty přímo pod vodou. Za předpokladu použití pěnového nebo vodního výplachu lze vrtací kladivo použít i v uzavřených prostorech, např. v důlních pracovištích.



Obr.2: Vrtací souprava LVE 70

Elektrohydraulická souprava SLVE 81 umístěná na tříkolovém podvozku je určena pro vrtání hornin s pevností v tlaku do 300 MPa příklepným způsobem ponornými vrtacími kladivy, pro průměry vrtů 80 až 125 mm. Pojezd soupravy při jejím přemísťování na pracovišti je proveden pohonem předního kola hydraulickým motorem.



Obr.3: Vrtací souprava SLVE 81

### **Technické parametry lomové vrtné soupravy LVE 70, SLVE 81 S**

(Výrobce: STASTR ČÁSLAV, s.r.o.)

rozměr dxš	5600 x 2150 mm
hmotnost	1600 kg
příkon elektromotoru	7,5 kW
max. kroutící moment	1450 Nm
otáčky vřeten	0 - 45 Ot/min.
výtažná síla	20 kN
hloubka vrtu	50 - 80 m
pneumat. instalace	12 barů
Tabulka č. 2	

#### **2.5.3. Vrtací soupravy pro rotačně-řezné vrtání**

Uplatňují se především v hnědouhelných lomech při vrtání vrtů pro trhací práci a v kamenolomech pro vrtání v měkčích a středně tvrdých horninách. Současně vyráběné vrtací soupravy jsou konstruovány pro automatický provoz.

Jsou umístěny na pásovém nebo kolovém podvozku se stabilní nebo otočnou nástavbou, vrtnou lafetou, zásobníkem vrtných tyčí s pohonem vznětovým motorem nebo elektromotorem.[1]

S nejtěžšími typy rotačních souprav lze vrtat i valivým způsobem a to v měkčích horninách, avšak jen nejmenšími průměry valivých dlát.



Obr. 4: vrtací souprava Hausherr HBM 120

#### **2.5.4. Vrtací soupravy pro valivé vrtání**

Tyto soupravy patří pro svou mohutnou konstrukci a vybavení k největším a nejdokonalejším vrtacím zařízením. Jsou vyráběna většinou na samohybném pásovém podvozku. Součástí stroje je odsávací zařízení pro odsávání a odlučování prachu a drtí. U nejmodernějších typů je celý provoz ovládán dálkově z kabiny obsluhy. [1]

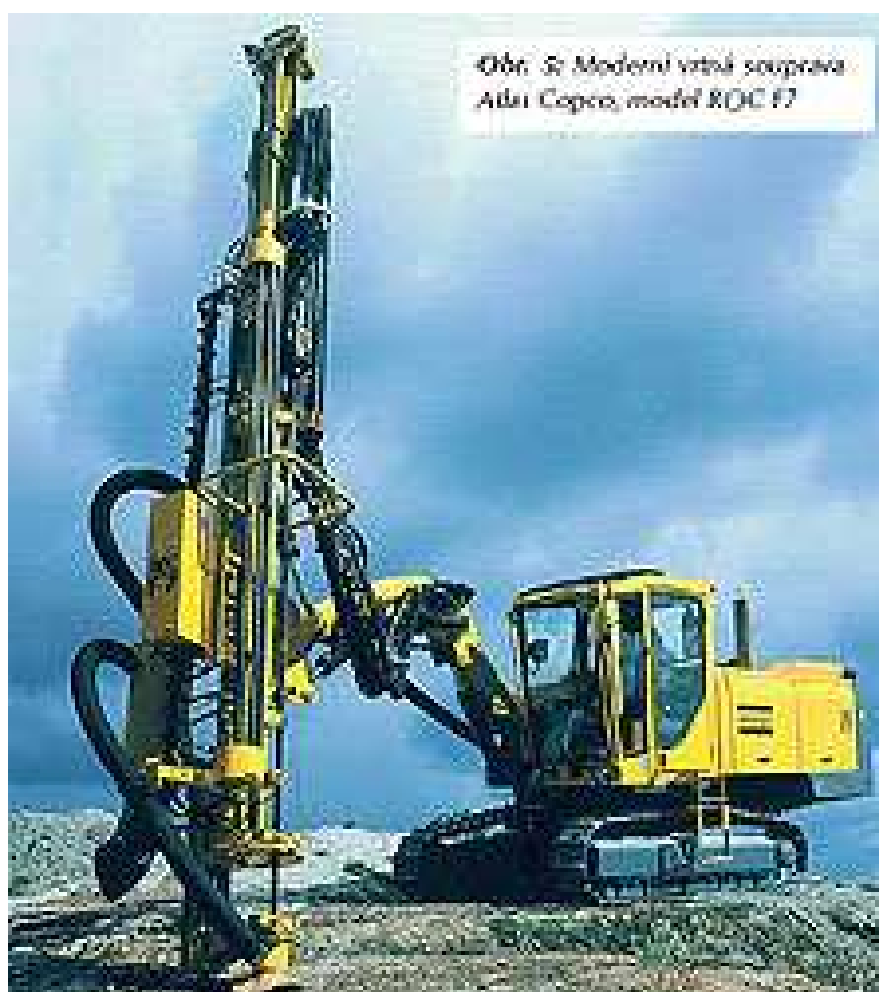
#### **2.5.5. Vrtací soupravy s termickým vrtáním**

Jsou to soupravy o veliké hmotnosti a proto se vyrábějí na pásovém podvozku s vlastním pohonem. V současné době se tyto vrtací soupravy používají při těžbě velmi tvrdých hornin s velkým obsahem křemene. Provoz těchto souprav

je velmi nákladný, zejména pro svou velkou energetickou náročnost. Hmotnost soupravy bývá 20 až 50 t. [1]

#### 2.5.6. Vrtací soupravy universální

Patří svou koncepcí mezi nejmodernější vrtací zařízení. Universálními soupravami lze vrtat nejproduktivnějším a nejefektivnějším způsobem bez zřetele na změny ve fyzikálně mechanických vlastnostech vrtaných hornin. Kromě toho lze pro každé vrtání volit optimální podmínky způsobu vrtání i během vrtání jediného vrtu.



Obr. 5: Vrtná souprava Atlas Copco, model ROC 17

### 3. Rešerše dosavadních výsledků vrtných prací

Nejefektivnější způsob rozpojování hornin vrtáním je v současné době pomocí vrtání ponornými vrtacími kladivy neboli DTH kladivy jak se také v praxi ponorné kladivo označuje (angl. Down-the-Hole, znamená „dole ve vrtu“). Ponorná kladiva se uplatňují téměř ve všech horninových podmínkách a takřka ve všech průmyslových odvětvích.

Ačkoliv ponorná kladiva zahájila svoji éru v povrchových lomech, jsou DTH kladiva nyní oceňována zejména ve vrtném průmyslu, kde získávají prioritu pro své významné výhody oproti jiným vrtným systémům a to zejména pro:

- jsou schopna vrtat téměř ve všech typech hornin: ve tvrdých, středně tvrdých až měkkých
- mechanické rychlosti, které mohou předstihnout jiné vrtné systémy
- nižší náklady
- vytváří přímější a čistější vrty
- široký rozsah vrtných průměrů bez zvýšených výdajů na investice
- odpadá časová náročná příprava a likvidace výplachového hospodářství a ekologického zatížení okolí
- jsou méně hlučné než jiné rotačně-příklepné systémy

Vrtání DTH kladivy je v současné době nejvšestrannější vrtnou technologií dostupnou pro většinu aplikací, protože může být použita ve středně tvrdých a tvrdých formacích a v podmínkách dříve určených pro rotační, nárazové a jádrovací metody vrtání.

#### 3.1. Vývoj vrtacích korunek

V posledních letech došlo k rychlému vývoji technologie vrtacích korunek. Prvním typem vrtacích korunek pro ponorná kladiva byla „křížová korunka“. Tepelné namáhání materiálu však omezovalo životnost křížových korunek. Koncem 60-tých let minulého století byla uvedena do provozu roubíková korunka. To byl mezník ve vývoji kladivových korunek, který vedl ke zvýšení životnosti korunek. Nová konstrukce roubíkových korunek eliminovala nedostatky křížových

korunek. Roubíkové korunky se dnes používají ve všech možných aplikacích při vrtání ponornými kladivy.

Roubíkové korunky jsou osázeny elementy ve tvaru válečků, osmihranů, šestihranů nebo čtyřhranů. Roubíky jsou vyrobeny v různých velikostech o průměru 5-10 mm. Rozložení roubíků na čele korunky je symetrické tak, aby se kružnice opracovávané roubíky na čelbě vrtu vždy překrývaly.



Obr. 6: Vrtací korunky



Obr. 7: Roubíková vrtací korunka



## 4. Návrh na optimalizaci vrtných prací na lomových provozech

V dnešní době, kdy se zaměřujeme na ekonomiku práce, se hledají i u vrtných prací při lomovém dobývání další možnosti jak je ještě vylepšit. Jednou z cest, která vede k poměrně velikým úsporám, je vytvoření matematického modelu rozpojování. Z těchto důvodů se celá řada konstruktérů a matematiků zaměřila právě na tuto problematiku. Ve své práci navazuji na program „Řezné schéma“, který se využívá k optimálnímu rozmístění řezných nástrojů na rozpojovací orgánu. K optimalizaci se zde využívá matematické metody „Simulované ochlazování“.

### 4.1 Simulované ochlazování

Simulované ochlazování (Simulated Annealing) je metoda Monte Carlo používána pro minimalizaci funkce více proměnných. Její název je odvozen od podobného fyzikálního procesu v přírodě: ohřev a postupné ochlazování materiálu, které vede k vytvoření silné krystalické struktury.

Systému, který zkoumáme, přidáme vlastnost zvanou „teplota“ ( $T$ ). Tato hodnota vyjadřuje pravděpodobnost, se kterou budeme při pohybu v prostoru daným vstupními proměnnými připouštět přesun do horšího stavu, než byl předchozí. Na začátku procesu ochlazování je teplota nastavena na jistou zvolenou hodnotu a vstupní proměnné zkoumané funkce  $f$  jsou naplněny náhodnými hodnotami. Dokud teplota neklesne pod jistou hranici (teplota „mrazu“), provádíme iterační krok: hodnoty vstupních proměnných se náhodně pozmění (v určitém, předem daném intervalu) a vypočte se nová hodnota funkce  $f$ . Pokud je nižší než původní, novou sadu hodnot proměnných přijmeme za správné.

V opačném případě tak učiníme s pravděpodobností  $p = e^{-\frac{\Delta f}{T}}$ , kde  $\Delta f$  je rozdíl nové a původní hodnoty  $f$ . Na konci iteračního kroku provedeme ochlazení snížením teploty  $T \leftarrow T \cdot koef$ , kde  $koef < 1$  je ochlazovací koeficient.

#### 4.2. Využití simulovaného ochlazování k optimalizaci tvaru a rozmístění břitů na vrtacích korunkách.

Konfigurací břitu je vektor  $\vec{n}(R, X, \varphi, \alpha, \beta, \gamma)$ .

Zadání základních údajů je na vstupním formuláři, který obsahuje údaje týkající se jednotlivých břitů vrtací korunky.

Pro každý břit jsou specifikovány následující údaje:

- a) poloměr  $R$  (mm) středu špičky břitu
- b) vzdálenost  $X$  (mm) středu špičky břitu
- c) obvodový úhel  $\varphi$  (deg) středu špičky břitu
- d) přírůstek  $\Delta\alpha$  (deg) úhlu naklonění břitu
- e) úhel  $\beta$  (deg) natočení břitu k podélné ose korunky
- f) úhel  $\gamma$  (deg) natočení břitu kolem vlastní osy

Vyjádření konfigurace vrtací korunky je pak vektor  $\vec{k}$ , který je vektorem konfigurací jednotlivých břitů.

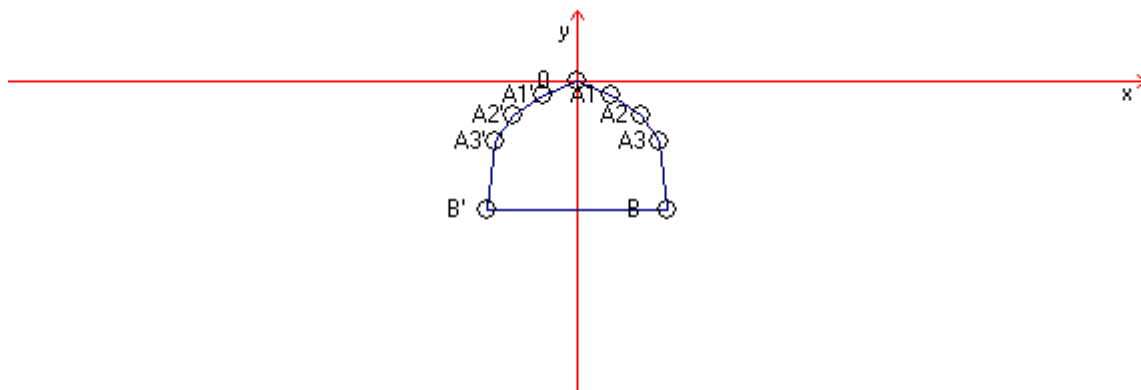
$$\vec{k}(\vec{n}_1, \vec{n}_2, \dots, \vec{n}_n)$$

Podkladem simulovaného ochlazování (ohodnocení stavu) je hodnota fitness, která je funkčně závislá na konfiguračním vektoru  $\vec{k}$  a lze ji tedy označit  $E(\vec{k})$ . Optimalizační algoritmus potom pomocí náhodných změn zkvalitňuje konfiguraci tak, aby se  $E(\vec{k})$  zlepšovalo (což může v závislosti na definici fitness zobrazení znamenat jak zvýšení, tak snížení numerické hodnoty  $E(\vec{k})$ ).

Program "Řezné schéma" obsahuje moduly pro výpočet pokrytí a ohodnocení bodů řezného schématu a optimalizaci rozpojovacího orgánu na základě těchto hodnot pomocí simulovaného ochlazování. Principem metody je, že program vyhodnocuje záběr rozpojovacího orgánu v hornině a opakováním algoritmu simulovaného ochlazování mění vstupní zadané údaje tak dlouho, dokud nedosáhne ustáleného stavu. Tomuto stavu je předem přiřazen požadovaný záběr rozpojovacího orgánu v hornině.

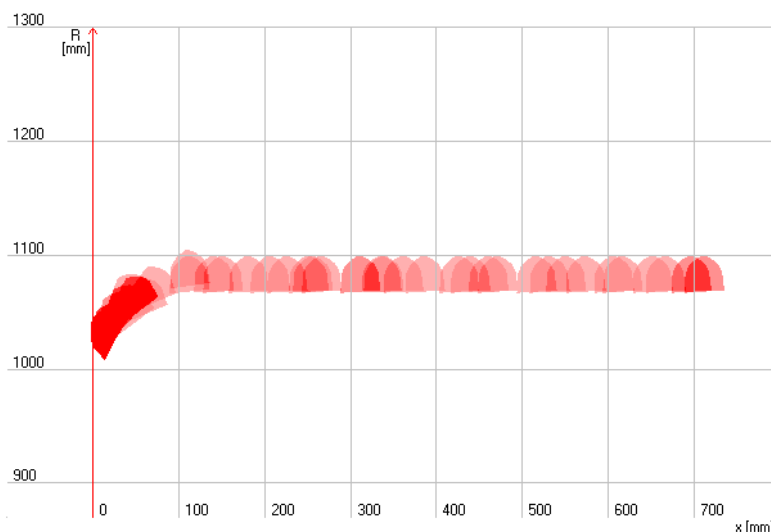


Tvar nože nebo břitu můžeme zobrazit pomocí devíti bodů. Každý bod lze zobrazit pomocí souřadnicového systému Oxy.



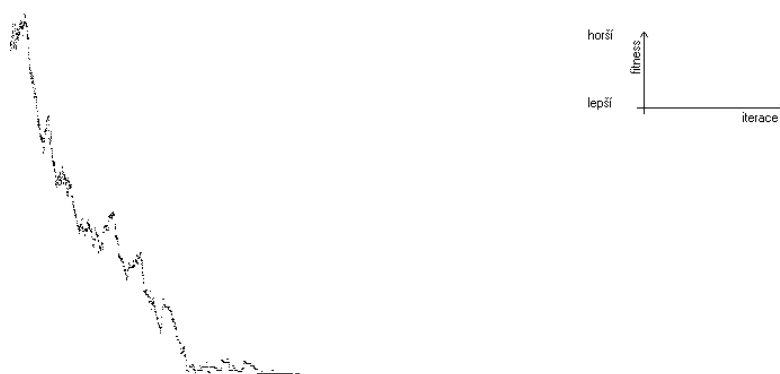
Obr.8: Zobrazení tvaru nože nebo břitu

Zde uvedený příklad programu „Řezné schéma“ byl vytvořen pro zobrazení rozpojovacího orgánu do roviny rozpojované horniny. Po zadání vstupních dat nám program vykreslí řezné schéma (obr.9).



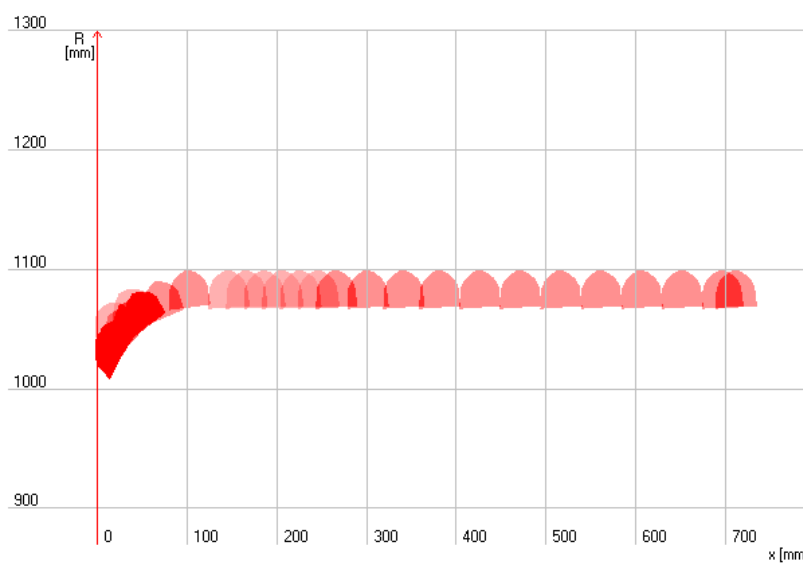
Obr.9: Řezné schéma neoptimalizovaného rozpojovacího orgánu

Pokud zvolíme optimalizaci metodou simulovaného ochlazování, pak můžeme průběh simulace sledovat na grafu (obr.10).



Obr.10: Graf průběhu simulovaného ochlazování

Po ukončení simulovaného ochlazování získáme řezné schéma optimalizovaného rozpojovacího orgánu (obr.11). Výsledek optimalizace odpovídá požadovanému zadání.



Obr.11: Řezné schéma optimalizovaného rozpojovacího orgánu

Ke kontrole výsledků optimalizace metodou simulovaného ochlazování byl využit program TOOLHEAD JVJS.

#### 4.3. Úprava programu „Řezné schéma“ pro potřeby vrtacích prací

Pokud chceme využít pro optimalizaci vrtacích prací modulů programu „Řezné schéma“, je potřeba pomocí laboratorních měření získat popis dráhy a tvar rozvalu pro konkrétní korunky v konkrétních horninách. Na základě těchto měření se sestaví řezné schéma. V případě rozpojovacích orgánů nám řezné schéma zobrazuje průměty rozpojovacích nástrojů do roviny.

V případě vrtacích prací bude výhodnější využít kónického nebo cylindrického zobrazení a následně výsledek zobrazení rozvinout do roviny.

Množinu počtu průmětů břitů do roviny se označí pojmem „pokrytí bodu“. Bodu řezného schématu, který nepokryje žádný břit bude přiřazena 0; bodu, který pokryje právě jeden břit bude přiřazena 1; bodu, který pokryjí právě dva břity 2 atd.

Dále se už mohou využít moduly programu „Řezné schéma“ pro výpočet pokrytí a ohodnocení bodů řezného schématu a následně provést optimalizaci pomocí simulovaného ochlazování.

### 5. Technicko-ekonomické vyhodnocení navrženého řešení

Na základě výše popsané matematické metody, která popisuje optimální rozmístění řezných nástrojů na rozpojovacím orgánu je možné říci, že zkvalitněním vrtacích segmentů (korunek) se zmenší nejen spotřeba materiálů, energie pro pohon vrtací soupravy, ale i spotřeba chladicí vody a výplachu, čímž budou finanční náklady na jeden vrt znatelně nižší.

Vrtací korunka z hlediska opotřebení vydrží déle a nebude se muset měnit tak často. Doba provádění samotného vrtu bude prováděna v kratších časových intervalech a tím dojde k celkovému zkrácení času vrtných prací. Vrtné práce se nebudou zastavovat a nebudou vznikat prostoje z důvodu výměny vrtných korunek a souprava se nebude muset znovu rozbíhat.

Při kvalitnějším vrtu je celkový pokles zatížení z hlediska prachu, hluku, výplachu a možnosti úniku ropných látek z agregátu a spotřeba elektrické energie znatelně menší.

Při pohonu vrtných souprav spalovacími motory je nutné optimalizovat vrtací nástroj a tím docílit snížení požadovaného příkonu spalovacího motoru a dosáhnout tak minimální hladinu emisních limitů z hlediska ochrany ovzduší.

Při samotné těžbě nerostných surovin je tedy nutné postupovat hospodárně a využívat co nejvíce efektivních technologických procesů, aby dopad na životní prostředí byl co nejmenší.

Vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům vrtacích korunek, je nutné přistupovat k volbě vhodného typu korunek vůči danému druhu rozpojované hornin efektivně.

### **5.1. Cenové srovnání technologií vrtání**

Vzhledem k rozdílným podmínkám provádění vrtných prací není snadné provést přímé cenové srovnání jednotlivých technologií vrtání. Při lomovém dobývání jsou však podmínky více méně stabilní a pracovní postupy se opakují.

Pro cenové srovnání byly použity tři hlavní technologie vrtání:

- rotarové vrtání
- vrchové vrtání
- ponorné kladivo

Pro srovnání byly použity hodnoty získané ve tvrdém vápenci při vrtání 165 mm ( $6\frac{1}{2}$ " ) děr v povrchovém lomu pro účely odstřelu. Ke kalkulaci byly použity technické parametry ověřené na území Velké Británie: [4]

Materiál a podmínky:	karbonský vápenec středně tvrdý
	krychelná pevnost v tlaku: 190-200 MPa
	křemík – 1% až 2%
	průměr vrtu – 165 mm ( $6\frac{1}{2}$ " )

hloubka vrtu – 18 m  
úpadní úhel vrtu 10°  
síť vrtů – 5,5 x 5,5,m  
specifická hmotnost – 2,55 t/m<sup>3</sup>  
produktivita odstřelu na 1 m ukloněného vrtu – 73 t  
pukliny s jílovou výplní na vrchních polohách  
horizontální vrstvení  
1500 rotačních hodin za rok

Detailní výsledky cenového srovnání nákladů jsou podrobně uvedena v následujících tabulkách:

**DTH kladivový systém** - vrtná souprava se samostatným pohonem pro vrty na odstřel. [4]

Srovnávané veličiny	Rozpis nákladů	Cena za hod. £
Amortizace	£ 300.000,- odepsaných po 14 000 hod.	21,43
Opravy a služby	Odhad	12,00
DTH kladiva	6" kladivo, £3.600,- odepsaných po provedení 12.000m při 40m/hod. tj. za 300 hod.	12,00
Vrtací korunky	Dia 165 mm, £450,- odepsaných po provedení 5000 m při 40m/hod. tj. za 125 hod.	3,60
Vrtné trubky	1 ks, délka 7,60mx114mm, 3 ks po £600,-/trubku, celkem £1800,- bylo odepsáno po 12 000m á 40 m/hod, tj. za 300 hod.	6,00
Odběr prachu	Filtry, hadice, generální údržba – odhad	0,75
Práce	1 dělník x £6,50/hod	6,50
Palivo	90 l/hod x 12 penci/litr	10,80
Mazadla	Pro vrtačku, kompresor a kladivo	2,20
Celkem	Celková cena za 1 hodinu práce kladiva	75,28

Tabulka č. 3

40 m/hod za £ 75,28:

cena za 1 bm vrtu v £ 1,88

Produktivita odstřelu na 1 bm vrtu:

73 tun

£ 1.88 : 73

 $\Rightarrow$ 

**cena 1 tuny horniny v pencích 2,58**

**Rotarové vrtání** – rotarová vrtná souprava 45-50 000 lb se samostatným pohonem. [4]

Srovnávané veličiny	Rozpis nákladů	Cena za hod. £
Amortizace	£ 240.000,- odepsaných po 14 000 hod.	17,14
Opravy a služby	Odhad	9,50
Valivá dláta	Dia 165 mm, £ 600,- odepsaných po provedení 3.000m při 24m/hod. tj. za 125 hod.	4,80
Vrtné trubky	7,60m/1 trubku x127mm, 3 ks x £ 750,-/trubku, celkem £2250,- odepsáno po 40 000m á 24 m/hod, tj. za 1,667 hod.	1,35
Odběr prachu	Filtry, hadice, generální údržba – odhad	0,75
Práce	1 dělník x £6,50/hod	6,50
Palivo	64 l/hod x 12 penci/litr	7,68
Mazadla	Pro soupravu a kompresor	2,00
Celkem	Celková cena za 1 hodinu práce rotarové soupravy	50,79

Tabulka č. 4

24 m/hod za £ 50,79:

cena za 1 bm vrtu v £ 2,12

Produktivita odstřelu na 1 bm vrtu:

73 tun

£ 2,12 : 73

 $\Rightarrow$ 

**cena 1 tuny horniny v pencích 2,90**

**Kolonové vrchové kladivo** – vrtačka s kolonovým vrchovým kladivom se samostatným pohonom. [4]

Srovnávané veličiny	Rozpis nákladů	Cena za hod. £
Amortizace	£ 340.000,- odepsaných po 14 000 hod.	24,29
Opravy a služby	Odhad	15,00
Redukce dříku	£ 740,- odepsaných po 4.000m á 35 m/hod., tj. za 114 hod.	6,49
Vrtné trubky	7,60m/1 trubku, 3 ks x £ 2.300,-/trubku, celkem £6900,- odepsáno po 3000m á 35 m/hod, tj.za 86 hod.	80,23
Vrtací korunky	£ 450,- odepsaných po 5.000m á 35 m/hod., tj. za 143	

	hod.	3,15
Odběr prachu	odhad	0,75
Práce	1 dělník x £6,50/hod	6,50
Palivo	65 l/hod x 12 pencí/litr	7,80
Mazadla	Pro soupravu, kompresor a vrchové kladivo	2,50
Celkem	Celková cena za 1 hodinu práce příklepové vrtačky	146,71

Tabulka č. 5

35 m/hod za £ 146,71:

cena za 1 bm vrtu v £ 4,19

Produktivita odstřelu na 1 bm vrtu:

73 tun

£ 4,19 : 73

=>

**cena 1 tuny horniny v pencích 5,74**

V následující tabulce jsou uvedeny výsledky cenového porovnání nákladů jednotlivých technologických systémů vrtání:

<b>Použitý systém vrtání</b>	<b>Cena za tunu (vrtání)</b>	<b>Roční výkon 1 stroje</b>
DTH systém	2,58 pencí/t	4 380 000 t/rok
Rotarový systém	2,90 pencí/t	2 628 000 t/rok
Vrchové kladivo	5,74, pencí/t	3 832 500 t/rok

Tabulka č. 6

Další srovnání provedené v jiných typech formací jasně prokázalo cenovou výhodnost a výkonnost DTH kladiv. DTH kladiva mají schopnost vrtat v různorodě tvrdých horninách a geotechnických podmínkách velmi efektivně a ekonomicky i s konstantní rychlostí postupu.

Rotarové vrtání může přinést zajímavé výsledky v měkkých, neabrazivních horninách, ale není konkurence schopné ve středně tvrdých až tvrdých horninách.

Vrtání vrchovými kladivy je ve většině hornin méně výkonné, ale v krátkých vrtech ve velmi tvrdých horninách může poskytnout některé výhody.

## 6. Závěr

Tato bakalářská práce se zaměřila na optimalizaci vrtných prací při lomovém dobývání. Pro optimalizaci byla využita matematická metoda „Simulované ochlazování“. Tato metoda popisuje možnost úspor při vhodně zvoleném způsobu vrtání a druhu vrtací korunky a správném nastavení břitů na vrtací korunce.

Tato metoda je zatím koncipována pro podmínky práce na důlních strojích a je třeba ji vyzkoušet a zdokonalit na větším množství vzorku horniny a rozšířit pro další vrtací práce. Dále jsem chtěl poukázat na teoretickou úvahu o efektivním nastavení břitů pro vrtací práce a získané teoretické poznatky aplikovat do formy použitelné v praxi.

V bakalářské práci jsem se dále zaměřili také na ponorná kladiva, která jsou pro vrtání horniny v dnešní době nejefektivnější. Spojení teoretických výpočtů a kvality korunek může přinést v budoucnu nemalé úspory.

Vzhledem k tomu, že se jedná o oblast výzkumu doufám, že tato teorie bude v budoucnu prakticky využitelná. I nemalé procento nárůstu úspor je z hlediska ekonomického přínosem, jak v odvětví lomového vrtání, tak celého odvětví hornictví.



## Seznam použité literatury

1. KRYL, Václav a kol., Povrchové dobývání ložisek. 1. vydání. Ostrava : VŠB Technická univerzita Ostrava, 1997. 282 s. ISBN 80-7078-396-6.
2. MAZÁČ, Josef, Hlubinné vrtání, 1.vydání. Ostrava: VŠB Technická univerzita Ostrava, 1991. 161 s. ISBN 80-7078-092-4.
3. GONDEK, H., DLOUHÁ, D.: Využití metody simulovaného ochlazování k optimalizaci rozmístění řezných nástrojů na rozpojovacím orgánu. Sborník anotací „, DIAGO 2004“, Ostrava únor 2004.
4. HRADIL, Zdeněk, Vrtání ponornými kladivy A -Z, Praha 2006. 76 s.

## Internetové zdroje

<http://www.rocktech.cz/vrtaci-naradi-vrchni-kladiva.php>

<http://www.strixchomutov.cz/cz/index.php?strana=cinnost/technologie&menu=vrtani#vyhody>

<http://www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/0120/Internet/Global/S003715.nsf/GenerateTopFrameset?ReadForm&menu=&view=http%3A//www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/0120/Internet/Global/S003713.nsf/Alldocs/6CA5751B0D2C0287C125716C0040926E&banner=/sandvik/0120/Internet/Global/S003715.nsf/LookupAdm/BannerForm%3FOpenDocument>

[http://pol.atlascopco.com/SGSite/default\\_prod.asp](http://pol.atlascopco.com/SGSite/default_prod.asp)

<http://www.stastr-caslav.cz/1565/lomove-vrtne-soupravy>

### **Seznam obrázků**

Obr. 1: DTH kladivo RH550

Obr. 2: Vrtací souprava LVE 70

Obr. 3: Vrtací souprava SLVE 81

Obr. 4: Vrtací souprava Hausherr HBM 120

Obr. 5: Vrtaná souprava Atlas Copco, model ROC 17

Obr. 6: Vrtací korunky

Obr. 7: Roubíková vrtací korunka

Obr. 8: Zobrazení tvaru nože nebo břitu

Obr. 9: Řezné schéma neoptimalizovaného rozpojovacího orgánu

Obr. 10: Graf průběhu simulovaného ochlazování

Obr. 11: Řezné schéma optimalizovaného rozpojovacího orgánu

### **Seznam tabulek**

Tabulka č. 1 - Rozdělení vrtání na lomech

Tabulka č. 2 - Technické parametry lomové vrtné soupravy LVE 70, SLVE 81 S

Tabulka č. 3 - DTH kladivový systém

Tabulka č. 4 - Rotarové vrtání

Tabulka č. 5 - Kolonové vrchové kladivo

Tabulka č. 6 - Výsledky cenového porovnání nákladů jednotlivých  
technologických systémů vrtání.

### **Seznam příloh**

Příloha č.1 - Vrtací souprava SLVE

Příloha č.2 - Vrtací souprava INGERSOLL-RAND CM 695 D

Příloha č.3 - Vrtací souprava Sandvick – Tamrock, řady Panthera